

## РАЗРАБОТКА СТЕНДА «ТРУБОПРОВОД» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧКИ

Мамонова Т. Е., Медведев А. С.  
Томский политехнический университет  
stepte@tpu.ru

### Введение

В настоящее время известно около 25 методов определения утечек из трубопроводов. [1, 2] Однако для проверки их работоспособности требуются исследования на реальном объекте, что не всегда возможно, так как доступ к трубопроводам перекачки нефтепродуктов весьма ограничен.

**Целью** работы является разработка стенда «трубопровод» для исследования метода определения утечки, основанного на показаниях устройства, разработанного автором работы. Более подробно о методе и устройстве измерения написано в работах [1 – 3].

**Практическая новизна** работы заключается в том, что полученный стенд позволит проводить экспериментальные исследования и сравнивать методы определения утечки, основанные на показаниях датчиков давления [3].

### Гидравлический расчет характеристик стенда

Модель стенда, представленная на рис. 1, состоит из двух взаимосвязанных резервуаров, трубы и двух насосов для перекачки жидкости.

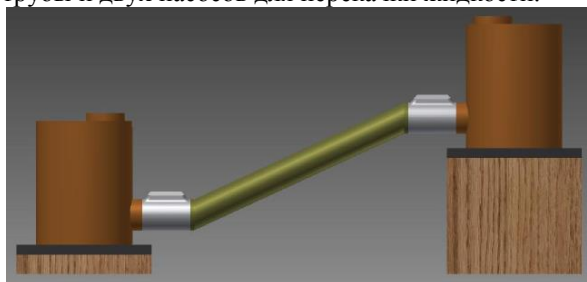


Рис. 1. Модель стенда «Трубопровод»

Все вычисления, математические преобразования и операции, а также построение графиков выполнены с помощью математического пакета MathCAD. Компьютерная модель и чертеж построены с помощью системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor.

### Выбор трубы и определение расчетных скоростей

В качестве жидкости будет использоваться водопроводная вода. Для разрабатываемого стенда экономически целесообразно выбрать трубы ПВХ. В соответствии с этим имеем несколько значений скорости движения жидкости из диапазона [0,5; 3] м/с. Диаметр трубы определяется по формуле [4]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot w}},$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с,  $w$  – средняя скорость движения воды, м/с;  $d$  – диаметр трубы, м.

Расчет представлен в табл. 1. При этом использовались данные, взятые из [3].

Таблица 1. Расчет диаметра трубы

Скорость $w$ , м/с	Расход $Q \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /с	Диаметр $d$ , м
1	9	0,107
1,5	13	0,105
2	379	0,491
2,5	1200	0,782

Оптимальным размером диаметра  $d$ , исходя из геометрии конструкции и наименьших потерь напора являются  $d = 0,107$  м и  $d = 0,105$  м. В справочнике ближайший диаметр стандартной трубы  $d = 0,110$  м. Два последних значения диаметра трубы не уместно рассматривать в силу больших потерь на трение. Тогда действительная скорость воды для выбранной стандартной трубы равно  $w = 1,789$  м/с.

### Определение потерь напора

Для определения режима движения жидкости в трубе рассчитаем число Рейнольдса по формуле [1]:

$$Re = w \cdot \frac{d}{\nu},$$

где  $\nu = 1,004 \cdot 10^{-6}$  с/м<sup>2</sup> – динамическая вязкость воды при температуре  $t = 20^\circ$  С. Тогда  $Re = 1,96 \cdot 10^5 > Re_{кр} = 2320$ . Следовательно режим движения в разрабатываемом стенде турбулентный. Значит, необходимо рассчитать толщину ламинарного подслоя по формуле [5]:

$$\delta = 34,2 \cdot \frac{d}{Re^{0,875}} = 8,805 \cdot 10^{-5}.$$

Абсолютная шероховатость  $\Delta = 0,075$  мм. Так как  $\Delta > \delta$ , то имеем область гидравлически шероховатых труб. Отсюда следует, что коэффициент трения  $\lambda$  определяем по формуле Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \log\left(\frac{d}{K_e}\right)\right)^2} = 0,05,$$

где  $K_e = 0,005$  – коэффициент Никурадзе.

Так как трубопровод прямой и не имеет дополнительных ответвлений и включений (вентиль, колено, расширение), расчет коэффициентов местных сопротивлений не нужен. Значение коэффициента сопротивления  $b$  для ПВХ труб возьмем из таблиц значений коэффициентов и рассчитаем потери на трение на всем трубопроводе:

$$h = b \cdot Q^2 = 2,89 \cdot 10^{-6} \text{ (м)},$$

где  $b = 0,01$  коэффициент сопротивления трубы для диаметров труб менее 0,2 м.

Полученное значение потерь на трение лежит в допустимом диапазоне и говорит о том, что в разрабатываемом трубопроводе имеется трение, оказывающее незначительный тормозящий эффект и требующее дополнительных затрат энергии на свое преодоление. В дальнейшем будет учитываться данный факт при подборе насоса для перекачивания жидкости.

#### Уравнение Бернулли и определение давления на выходе

Выберем два сечения: 1-1 (на выходе из первого резервуара) и 2-2 (на входе во второй резервуар). Уравнение Бернулли имеет вид [4]:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2 \cdot g} + h_{номл-2},$$

где  $z_1, z_2$  – высоты расположения сечений, м;  $P_1, P_2$  – давления на сечениях, Па;  $\gamma$  – плотность перекачиваемой жидкости, Кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения;  $W_1, W_2$  – средняя скорость течения жидкости через соответствующие сечения м/с;  $h_{номл-2}$  – потери напора;  $\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$  –

пьезометрический напор;  $\frac{W_1^2}{2 \cdot g}, \frac{W_2^2}{2 \cdot g}$  –

динамический напор.

Расчетные данные уравнения Бернулли представлены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные данные уравнения Бернулли

$\gamma$ , Кг/м <sup>3</sup>	$z_1$ , м	$z_2$ , м	$W_1$ , м/с	$W_2$ , м/с	$P_1$ , Па·10 <sup>3</sup>	$P_2$ , Па·10 <sup>3</sup>	$h_{номл-2}$ , м·10 <sup>-6</sup>
999,97	0	0,5	1,79	1,79	101,37	101,68	2,89

#### Построение характеристики трубопровода

Уравнение напорной характеристики сети записывается следующим образом [4]:

$$H(Q) = a + (c + b) \cdot Q^2,$$

где  $a = (z_1 - z_2) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$ ,  $c = [8 \frac{1}{d_1^4} - 8 \frac{1}{d_2^4}] / g \cdot \pi^2$ ,

$d_1$  – диаметр трубы в сечении 1-1, м,  $d_2$  – диаметр трубы в сечении 2-2, м. Так как диаметр трубы не изменяется по всей его длине, то  $c = 0$ .

Тогда для расчетного трубопровода уравнение характеристики трубопровода примет вид:

$$H(Q) = -2,89 \cdot 10^{-6} + 0,01 \cdot Q^2.$$

На рис. 2 приведен график напорной характеристики трубопровода ( $H$ - $Q$  зависимость). Характеристика, представленная на рис. 2, показывает зависимость напора, который надо сообщить жидкости, поступающей в трубопровод, от расхода, подаваемого по трубопроводу.

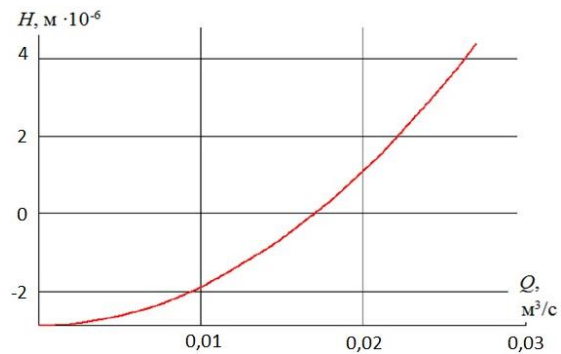


Рис. 2. График зависимости  $H$ - $Q$

Данная характеристика будет использоваться в дальнейших расчетах для определения рабочей точки, соответствующая рабочей точке используемого насоса.

#### Заключение

Таким образом, для разрабатываемого стенда «трубопровод» были выбраны следующие параметры: длины трубы – 1,2 м, диаметра трубы – 0,110 м, вид материала трубы – ПВХ, тип перекачиваемой жидкости – водопроводная вода при температуре 20° С. Выполненный гидравлический расчет показывает, что при выбранных значениях трубы и перекачиваемой жидкости стенд будет работать без сбоя.

#### Список использованных источников

1. Мамонова Т. Е. Метод определения утечки из нефтепровода, основанный на разности во времени давления / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. Т. 323. № 1. С. 216-219.
2. Васильева Т. Н., Мамонова Т. Е. Применение методов искусственного интеллекта // Молодёжь и современные информационные технологии. Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2014. С. 402-403.
3. Мамонова Т. Е. Обнаружение утечек из нефтепровода с использованием устройства для измерения давления / Наука красная. 2012. № 5. С. 102-111.
4. Гидравлический расчет трубопроводов. Расчет диаметра трубопровода. Подбор трубопроводов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ence-pumps.ru/truboprovody.php> (дата обращения 13.06.2017 г.).
5. Определение потерь напора. [Электронный ресурс]. – URL: <http://3ys.ru/gidravlika/opredelenie-poter-napora.html> (дата обращения 13.06.2017 г.). Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-38-00010 мол\_а.